

	<p>JURNAL CHEMURGY</p> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	--	---

APLIKASI PROSES DESINFEKSI AIR MINUM MENGUNAKAN CUKA KAYU BERBASIS LIMBAH SERBUK GERGAJI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN DESINFEKSI

APPLICATION OF DRINKING WATER DISINFECTION PROCESS USING WOOD VINEGAR BASED ON SAWDUST WASTE AS AN ALTERNATIVE DISINFECTION MATERIAL

Tarikh Azis R^{1*}, Marina Maharani Kahardhini², Tanti Utami Dewi²

¹Department of Piping Engineering, Marine Engineering, Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

²Department of Waste Treatment Engineering, Marine Engineering, Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*email : tarikh@ppns.ac.id

(Received: 2024 05, 07; Reviewed: 2024 12, 01; Accepted: 2024 12, 01)

Abstrak

Pertumbuhan industri dan kebutuhan masyarakat akan memberikan dampak seperti munculnya patogen seperti bakteri *Escherichia coli* dalam air. Hal ini akan berkontribusi pada penurunan ketersediaan air bersih. Proses desinfeksi diterapkan untuk mengurangi dan membatasi jumlah bakteri *Escherichia coli* di dalam air. Cuka kayu yang mengandung fenol merupakan salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai disinfektan. Penelitian ini mengkaji penggunaan cuka kayu dalam proses desinfeksi. Proses desinfeksi dievaluasi berdasarkan variasi konsentrasi cuka kayu dan waktu kontak selama proses desinfeksi terhadap analisis jumlah bakteri (MPN) dan analisis residu fenol. Cuka kayu dari limbah serbuk gergaji telah memenuhi kualitas dari segi parameter pH, warna dan transparansi yang mengacu pada The Japan Pyrolygneous Liquor Association. Cuka kayu memiliki kandungan fenol sebesar 1.022,456 ppm. Peningkatan konsentrasi fenol dapat meningkatkan daya hambat pertumbuhan *Escherichia coli* hingga 99,816% sedangkan peningkatan waktu kontak memberikan hasil yang fluktuatif. Proses desinfeksi menggunakan cuka kayu menghasilkan konsentrasi *Escherichia coli* dan fenol yang berada di atas regulasi jika dibandingkan dengan gas klorin.

Kata Kunci: Cuka kayu, Desinfeksi, *Escherichia coli*, Fenol, Limbah serbuk gergaji

Abstract

The growth of industry and people's needs will have an impact such as the emergence of pathogens such as Escherichia coli bacteria in water. This will contribute to a degradation of the availability of clean water. The disinfection process is applied to reduce and limit the amount of Escherichia coli in the water. Wood vinegar, which contains phenol, is an alternative ingredient that can be used as a disinfectant. Wood vinegar contains phenol so that it can be used in the disinfection process. Wood vinegar is extracted from sawdust waste that has been delignified, pyrolyzed and purified. This research examines the use of wood vinegar in the disinfection process. The disinfection process was evaluated based on variations in wood vinegar concentration and

	<h1>JURNAL CHEMURGY</h1> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	---	---

contact time during the disinfection process on bacterial count analysis (MPN) and phenol residue analysis. Wood vinegar from sawdust waste has fulfilled the quality in terms of pH, color and transparency parameters referring to The Japan Pyroligneous Liquor Association. Wood vinegar has a phenol content of 1,022.456 ppm. Increasing phenol concentration can enhance the growth inhibition of Escherichia coli up to 99.816% while increasing contact time gives fluctuating results. The disinfection process using wood vinegar resulted in above regulation concentrations of escherichia coli and phenol when compared to chlorine gas.

Keywords: Disinfection, Escherichia coli, Phenol, Sawdust waste, Wood vinegar

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi masyarakat. Kebutuhan akan air bersih akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia. Hal ini menyebabkan meningkatnya tingkat pencemaran air dan memberikan dampak yang serius bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Salah satu parameter pencemar yang muncul akibat meningkatnya tingkat pencemaran air adalah *escherichia coli*. *Escherichia coli* merupakan mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Jang et al., 2017). Hal ini membutuhkan proses desinfeksi untuk mengendalikan jumlah *Escherichia coli* pada air sehingga dapat memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air.

Proses desinfeksi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan desinfektan seperti klorinasi dan tanpa bahan kimia seperti penyinaran sinar ultraviolet (Tsitsifli and Kanakoudis, 2018). Agen desinfeksi adalah bahan kimia yang digunakan untuk menghambat, mengurangi efek berbahaya, atau mengurangi efek berbahaya dari mikroorganisme (Paijens et al., 2021). Bahan kimia yang biasa digunakan dalam proses desinfeksi adalah natrium hipoklorit, klorin, klorin dioksida, dan ozon (Musee et al., 2023). Proses desinfeksi menggunakan bahan kimia seperti natrium hipoklorit dan klorin berpotensi menghasilkan produk sampingan seperti trihalometana dan asam haloasetat (Tsitsifli and Kanakoudis, 2018). Trihalometana memiliki sifat karsinogenik yang merugikan lingkungan dan manusia. Trihalometana memiliki sifat karsinogenik yang merugikan lingkungan dan manusia. Salah satu alternatif yang digunakan adalah dengan menggunakan bahan anti bakteri yang terbuat dari tumbuhan. Penggunaan bahan nabati memiliki sisi positif karena merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui dan memiliki sifat berkelanjutan.

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki hasil hutan seperti kayu meranti, kayu jati, kayu kamper dan kayu mahoni. Indonesia memproduksi hasil hutan berupa kayu bulat sebesar 61,02 juta m³ pada tahun 2020 dan meningkat 5,59% pada tahun 2021. Peningkatan produksi kayu bulat ini disebabkan oleh permintaan di sektor konstruksi bangunan dan proses pembuatan mebel. Hal ini akan sejalan dengan peningkatan limbah serbuk gergaji. Limbah serbuk gergaji dapat dimanfaatkan secara terbatas sebagai media tanam tanaman atau sebagai bahan campuran bata ringan (Farhatul Wahidah and Adi Saputra, 2015; Isnawati et al., 2019; Taslim et al., 2020). Jika tingkat pemanfaatan media tanam atau bahan campuran bata ringan tidak sebanding dengan tingkat produksi limbah serbuk gergaji, hal ini akan berakibat pada timbunan limbah padat. Limbah serbuk gergaji memiliki kandungan lignin sebesar 38% pada limbah kayu meranti, 15-35% pada limbah kayu jati dan 25-30% pada limbah kayu mahoni (Rohmawati et al., 2018; Tajalla et al., 2019; Wijayanti, 2018). Kandungan lignin pada limbah serbuk gergaji dapat diolah menjadi cuka kayu sebagai alternatif pengganti bahan kimia dalam proses desinfeksi. Cuka kayu memiliki sifat anti bakteri seperti fenol dan turunannya (Lu et al., 2019).

Desinfeksi pada air dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan mempengaruhi kecepatan proses penghambatan pertumbuhan mikroorganisme. Salah satu yang mempengaruhi adalah waktu kontak dan dosis bahan anti bakteri. Afda dkk (2020) meneliti tentang pengaruh dosis cuka kayu dari kayu

manis (*Cinnamomum parthenoxylon*) terhadap pertumbuhan jamur. Penelitian ini menghasilkan bahwa peningkatan dosis dapat menghambat pertumbuhan jamur (Adfa et al., 2020). Kisa dkk (2022) mengamati aktivitas penghambatan enzim dan mikroba terhadap berbagai konsentrasi ekstrak fenolik dari *Allium kastambulense*. Penelitian ini menghasilkan bahwa peningkatan dosis ekstrak fenol mampu menghambat enzim dan mikroba (Kisa et al., 2022). Zakaria dkk (2022) melakukan penelitian mengenai proses desinfeksi spora jamur pada berbagai kondisi waktu. Penelitian ini menemukan adanya penurunan pertumbuhan jamur dari 71% menjadi 60% pada hari kedua dan ketujuh pengamatan (Zakaria et al., 2022). Xu dkk (2023) melakukan penelitian tentang penggunaan berbagai konsentrasi fenol dalam pengolahan air limbah secara anaerobik. Penelitian ini menghasilkan penurunan konsentrasi metana seiring dengan peningkatan konsentrasi fenol dan menghambat perkembangan *methanosaeta* dan *methanobacterium* (Xu et al., 2023). Chaves-Ulate dkk (2023) melakukan penelitian tentang variasi konsentrasi ekstrak fenolik dari lendir kopi terhadap aktivitas mikroba. Pada penelitian ini, ekstrak fenolik dari lendir kopi mampu menghambat aktivitas mikroba (Chaves-Ulate et al., 2023).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, cuka kayu berfungsi sebagai desinfektan yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Penelitian ini berfokus pada variasi dosis dan waktu kontak pada proses desinfeksi. Parameter jumlah bakteri (MPN) dan analisis residu fenol pada produksi air minum digunakan dalam penelitian ini.

2. METODOLOGI

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, alat pirolisis, dan *jar test*. Bahan-bahan yang digunakan adalah natrium hidroksida, akuades, *Lauryl Tryptose Broth*, *EC Broth*, *air tryptone*, dan reagen kovac. Limbah serbuk gergaji didelignifikasi menggunakan natrium hidroksida dan dimasukkan ke dalam alat pirolisis pada suhu 600 C. Produk pirolisis dimurnikan dengan menggunakan alat distilasi. Cuka kayu ditambahkan ke dalam air sampel di dalam *jar test* dengan pengadukan lambat pada kecepatan 50 rpm untuk melakukan proses desinfeksi. Konsentrasi cuka kayu yang ditambahkan adalah 0,1-0,7 ppm dengan waktu kontrak antara 5-15 menit. Hasil dari proses desinfeksi dianalisis dan dievaluasi berdasarkan variasi konsentrasi cuka kayu dan waktu kontak. Proses desinfeksi akan dibandingkan dengan penggunaan gas klorin. Kadar fenol dalam cuka kayu diperoleh dari *High Performance Liquid Chromatography*. Karakteristik fisik cuka kayu dikomparasi dengan *Japan Pyroligneous Liquor Association*. Parameter yang dianalisis pada proses desinfeksi adalah analisis jumlah bakteri (MPN) dan analisis residu fenol dalam air.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses desinfeksi digunakan untuk mengontrol dan mengurangi parameter *escherichia coli*. Desinfektan menggunakan cuka kayu yang terbuat dari limbah serbuk gergaji. Variasi konsentrasi cuka kayu dan waktu kontak digunakan untuk mengontrol dan menurunkan parameter biologis. Konsentrasi awal *escherichia coli* adalah 1898 koloni/100 mL.

Japan Pyroligneous Liquor Association memberikan panduan tentang standarisasi produk cuka kayu. Salah satu parameter yang diamati adalah pH, berat jenis, warna dan transparansi. Tabel 1 adalah karakteristik fisik cuka kayu dari limbah serbuk gergaji dengan mengacu pada *Japan Pyroligneous Liquor Association*. Cuka kayu dari limbah serbuk gergaji memiliki kualitas yang baik dalam hal pH, warna dan transparansi. Keasaman cuka kayu berkisar antara rentang pH 2 hingga 4 karena adanya asam organik (Theapparath et al., 2018).

Kandungan fenol dalam cuka kayu dari limbah serbuk gergaji adalah 102,456 ppm. Komponen cuka kayu terdiri dari beberapa zat, fenol adalah salah satunya. Senyawa fenol dapat berfungsi sebagai penghambat dan mencegah pertumbuhan mikroba. Kandungan bahan aktif tersebut tergantung dari komposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin pada bahan baku yang digunakan (Theapparath et al., 2018).

Tabel 1. Karakteristik Fisik Cuka Kayu dari Limbah Serbuk Gergaji

Parameter	Hasil	Standar mutu dari <i>Japan Pyroligneous Liquor Association</i>
-----------	-------	--

pH	3,7	3
Berat jenis (g/mL)	0,978	1,010 – 1,050
Warna	Coklat kemerahan	Kuning pucat, coklat cerah atau coklat kemerahan
Transparansi	Cuka kayu tidak mengandung suspensi	Menunjukkan transparansi tanpa padatan tersuspensi

Tabel 2. Efisiensi penghambatan jumlah *escherichia coli* dengan variasi konsentrasi cuka kayu dan waktu kontak

Variasi	Waktu kontak		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit
Cuka kayu 0 ppm	0 %	0 %	0 %
Cuka kayu 0,1 ppm	97,445 %	99,052 %	99,210 %
Cuka kayu 0,3 ppm	99,315 %	99,526 %	99,210 %
Cuka kayu 0,5 ppm	99,314 %	99,341 %	99,236 %
Cuka kayu 0,7 ppm	99,816 %	99,816 %	99,631 %

Tabel 2 menunjukkan penurunan jumlah koloni *escherichia coli* dengan variasi konsentrasi cuka kayu dan waktu kontak. Peningkatan konsentrasi cuka kayu mengakibatkan peningkatan efisiensi penghambatan jumlah *escherichia coli* namun peningkatan waktu kontak cenderung memberikan hasil yang fluktuatif. Nilai efisiensi penghambatan tertinggi sebesar 99,816% terjadi pada konsentrasi cuka kayu 0,7 ppm dan waktu kontak 5 menit. Hasil serupa ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Kisa et al (2022) dimana terjadi peningkatan penghambatan jumlah *escherichia coli* seiring dengan peningkatan konsentrasi disinfektan (Kisa et al., 2022). Penelitian yang lain juga melaporkan adanya peningkatan laju penghambatan mikroorganisme ketika konsentrasi disinfektan ditingkatkan (Adfa et al., 2020). Hasil penghambatan jumlah *escherichia coli* disebabkan oleh kandungan fitokimia (asam fenolat dan flavonoid) pada cuka kayu (Kisa et al., 2022; Yahia et al., 2019).

Senyawa fenol dapat menghambat aktivitas mikroba dengan beberapa mekanisme yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh faktor virulensi, penurunan tingkat kekentalan membran, dan penurunan laju sintesis asam nukleat (Rutala and Weber, 2013; Takó et al., 2020). Salah satu mekanisme yang mungkin terjadi adalah bakteri mengalami hiperasidifikasi pada *plasma membrane interface* yang dihasilkan dari proses disosiasi asam fenolat akibat aktivitas senyawa disinfektan. Hal ini mengakibatkan perubahan pada membran sel dan meningkatkan permeabilitasnya (Alexandre et al., 2019). Selain itu, disinfektan juga akan menghambat perlekatan bakteri pada lapisan sel epitel (Alshaibani et al., 2017; Lacombe et al., 2010). Hal ini menyebabkan perforasi sel, disintegrasi, dan kematian bakteri.

Hasil yang didapatkan masih belum memenuhi konsentrasi maksimum *escherichia coli* menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 2 tahun 2023 tentang peraturan pelaksanaan peraturan pemerintah nomor 66 tahun 2014 tentang penyehatan lingkungan. Tingkat maksimum dari peraturan tersebut adalah 0 CFU/100 ml. Jika cuka kayu dibandingkan dengan gas klorin dengan konsentrasi 2 ppm yang digunakan dalam proses desinfeksi pada pengolahan air minum, maka gas klorin menghasilkan efisiensi penghambatan sebesar 100% dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Tabel 3 menunjukkan sisa fenol yang terkandung di dalam air setelah proses desinfeksi. Konsentrasi fenol yang diperoleh masih berada di atas peraturan yang berlaku. Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup mensyaratkan kandungan fenol dalam air minum maksimal 0,001 mg/L. Konsentrasi fenol yang berlebihan pada air dapat menyebabkan masalah pada saluran pencernaan, tremor otot dan kesulitan berjalan (Anku et al., 2017). Jika cuka kayu dibandingkan dengan gas klorin pada saat proses desinfeksi, maka gas

klorin akan menghasilkan residu sebesar 0,076 ppm dan memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 2 tahun 2023.

Tabel 3. Konsentrasi fenol sisa setelah proses desinfeksi

Konsentrasi	Waktu Kontak		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit
Cuka kayu 0,1 ppm	0,059 ppm	0,052 ppm	0,06 ppm
Cuka kayu 0,3 ppm	0,091 ppm	0,089 ppm	0,085 ppm
Cuka kayu 0,5 ppm	0,082 ppm	0,061 ppm	0,085 ppm
Cuka kayu 0,7 ppm	0,385 ppm	0,110 ppm	0,048 ppm

4. KESIMPULAN

Cuka kayu dari limbah serbuk gergaji telah berhasil dibuat dalam penelitian ini. Parameter fisik seperti pH 7, berat jenis 0,978 g/mL, warna coklat kemerahan dan tidak ada suspensi cuka kayu telah dievaluasi dengan mengacu pada *Japan Pyroligneous Liquor Association*. Kandungan fenol dalam cuka kayu adalah 102,456 ppm. Peningkatan konsentrasi fenol berdampak pada proses penghambatan *escherichia coli*, sedangkan peningkatan waktu kontak memberikan hasil yang fluktuatif. Proses desinfeksi menggunakan cuka kayu menghasilkan konsentrasi *escherichia coli* dan fenol di atas regulasi jika dibandingkan dengan gas klorin.

DAFTAR PUSTAKA

Adfa, M., Romayasa, A., Kusnanda, A.J., Avidlyandi, A., Yudha S., S., Banon, C., Gustian, I., 2020. Chemical Components, Antitermite and Antifungal Activities of Cinnamomum parthenoxylon Wood Vinegar. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 48, 107–116. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.1.107>

Alexandre, E.M.C., Silva, S., Santos, S.A.O., Silvestre, A.J.D., Duarte, M.F., Saraiva, J.A., Pintado, M., 2019. Antimicrobial activity of pomegranate peel extracts performed by high pressure and enzymatic assisted extraction. *Food Research International* 115, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.044>

Alshaibani, D., Zhang, R., Wu, V.C.H., 2017. Antibacterial characteristics and activity of Vaccinium macrocarpon proanthocyanidins against diarrheagenic Escherichia coli. *J Funct Foods* 39, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.003>

Anku, W.W., Mamo, M.A., Govender, P.P., 2017. Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods, in: Phenolic Compounds - Natural Sources, Importance and Applications. InTech. <https://doi.org/10.5772/66927>

Chaves-Ulate, C., Rodríguez-Sánchez, C., Arias-Echandi, M.L., Esquivel, P., 2023. Antimicrobial activities of phenolic extracts of coffee mucilage. *NFS Journal* 31, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2023.03.005>

Farhatul Wahidah, B., Adi Saputra, F., 2015. Perbedaan Pengaruh Media Tanam Serbuk Gergaji dan Jerami Padi Terhadap Pertumbuhan Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*). *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi* 3, 11–15. <https://doi.org/10.24252/bio.v3i1.560>

Isnawati, I., Mahmudi, I., Khayati, D.N., Utami, T.W., Purwanti, K.E., Ulfa, M., 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Kertas 80% dan Kayu 20% Sebagai Alternatif Media Tanam Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*). *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi* 21, 139–145. <https://doi.org/10.14710/bioma.21.2.139-145>

Jang, J., Hur, H.-G., Sadowsky, M.J., Byappanahalli, M.N., Yan, T., Ishii, S., 2017. Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications-a review. *J Appl Microbiol* 123, 570–581. <https://doi.org/10.1111/jam.13468>

- Kısa, D., Kaya, Z., İmamoğlu, R., Genç, N., Taslimi, P., Taskin-Tok, T., 2022. Assessment of antimicrobial and enzymes inhibition effects of *Allium kastambulense* with in silico studies: Analysis of its phenolic compounds and flavonoid contents. *Arabian Journal of Chemistry* 15, 103810. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103810>
- Lacombe, A., Wu, V.C.H., Tyler, S., Edwards, K., 2010. Antimicrobial action of the American cranberry constituents; phenolics, anthocyanins, and organic acids, against *Escherichia coli* O157:H7. *Int J Food Microbiol* 139, 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.035>
- Lu, X., Jiang, J., He, J., Sun, K., Sun, Y., 2019. Effect of Pyrolysis Temperature on the Characteristics of Wood Vinegar Derived from Chinese Fir Waste: A Comprehensive Study on Its Growth Regulation Performance and Mechanism. *ACS Omega* 4, 19054–19062. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02240>
- Musee, N., Ngwenya, P., Motaung, L.K., Moshuhla, K., Nomngongo, P., 2023. Occurrence, effects, and ecological risks of chemicals in sanitizers and disinfectants: A review. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 5, 62–78. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.01.003>
- Paijens, C., Bressy, A., Frère, B., Tedoldi, D., Mailler, R., Rocher, V., Neveu, P., Moilleron, R., 2021. Urban pathways of biocides towards surface waters during dry and wet weathers: Assessment at the Paris conurbation scale. *J Hazard Mater* 402, 123765. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123765>
- Rohmawati, B., Atikah Nata Sya'idah, F., Rhismayanti, R., Alighiri, D., Tirza Eden, W., 2018. Synthesis of Bioplastic-based Renewable Cellulose Acetate from Teak Wood (*Tectona grandis*) Biowaste Using Glycerol-Chitosan Plasticizer. *Oriental Journal of Chemistry* 34, 1810–1816. <https://doi.org/10.13005/ojc/3404014>
- Rutala, W.A., Weber, D.J., 2013. Disinfection and sterilization: An overview. *Am J Infect Control* 41, S2–S5. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.11.005>
- Tajalla, G.U.N., Humaira, S., Parmita, A.W.Y.P., Zulfikar, A., 2019. Extraction and Characterization of Cellulose from Yellow Meranti (*Shorea macrobalanos*) Sawdust Waste. *JST (Jurnal Sains Terapan)* 5, 142–147. <https://doi.org/10.32487/jst.v5i2.704>
- Takó, M., Kerekes, E.B., Zambrano, C., Kotogán, A., Papp, T., Krisch, J., Vágvölgyi, C., 2020. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms. *Antioxidants* 9, 165. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
- Taslim, R., Hasan, I., Hartati, M., Siska, M., Hamdy, M.I., 2020. Analisa Karakteristik Mekanis dan Tekno Ekonomi Pembuatan Komposit Batu Bata Merah dari Limbah Gergaji Kayu Karet. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri* 6, 114. <https://doi.org/10.24014/jti.v6i2.10498>
- Theapparat, Y., Chandumpai, A., Faroongsarng, D., 2018. Physicochemistry and Utilization of Wood Vinegar from Carbonization of Tropical Biomass Waste, in: Sudarshana, P., Nageswara-Rao, M., Soneji, J.R. (Eds.), *Tropical Forests - New Edition*. InTech.
- Tsitsifli, S., Kanakoudis, V., 2018. Disinfection Impacts to Drinking Water Safety—A Review, in: *The EWaS International Conference on “Insights on the Water-Energy-Food Nexus.”* MDPI, p. 603. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110603>
- Wijayanti, W., 2018. Identifikasi Komposisi Kimia Tar Kayu Mahoni untuk Biofuel pada Berbagai Temperatur Pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin* 9, 183–190. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.5>
- Xu, H., Wang, T., Zhou, Y., Zhao, M., Shi, W., Huang, Z., Ruan, W., 2023. Insights into the phenol disinfectant on the methane performance from wastewater by mesophilic anaerobic digestion: Single and two stages analysis. *Process Safety and Environmental Protection* 170, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.089>

Yahia, Y., Bagues, M., Zaghdoud, C., Al-Amri, S.M., Nagaz, K., Guerfel, M., 2019. Phenolic profile, antioxidant capacity and antimicrobial activity of *Calligonum arich* L., desert endemic plant in Tunisia. *South African Journal of Botany* 124, 414–419. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.005>

Zakaria, S.N.S., Che Ku Yahya, C.K.M.F., Yahya, N.Y., 2022. The potential of *Moringa oleifera* seeds for fungal disinfection in water. *Mater Today Proc* 57, 1369–1372. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.585>